

Jurnal EduMatSains, 1 (2) Januari 2017, 165-176

Penggunaan Pasco Capstone 14.1 untuk Menentukan Koefisien Konveksi Udara dengan Metode Pendinginan Air

Taat Guswantoro*

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Kristen Indonesia
Jln. Mayjend Sutoyo, No.2, Cawang, Jakarta Timur, 13630

*e-mail: taat_toro@yahoo.co.id

Abstract

Water cooling occurs since the heat energy of water is transferred to the air. Water is placed in a thin transparent vessel can reduce the effects of heat transfer by radiation and conduction, so the most dominant heat transfer is convection. Newton's law of cooling states that the rate of cooling is directly proportional to the temperature difference between the object and room temperature. By knowing the value of constant cooling, the air convection coefficient can be calculated. This study using three different sizes of cups, each of which is filled with hot water. In each glass inserted temperature sensors that connected to the interface, recording the temperature every 60 seconds using pasco capstone 14.1. The resulting graph was analyzed by exponential regression, in order to find the value of constant cooling, from this value can be calculated the air convection coefficient. The research result shows air convection coefficient value of $h = 19,9 \pm 0,6 \text{ W/m}^2\text{C}$, that mean if there is an object that has an area of 1 m^2 and 1°C higher than room temperature, the thermal energy of the object will be lost of 19.9 J for each second.

Keywords: *Water cooling, heat transfer, air convection coefficient.*

PENDAHULUAN

Benda bersuhu tinggi ketika berada di udara bebas akan kehilangan energi panas karena energi panasnya ditransfer oleh partikel-partikel udara disekitar benda tersebut secara konveksi. Transfer panas secara konveksi dapat terjadi secara baik alami maupun secara paksaan yaitu dengan mengalirkan fluida pada benda panas agar fluida tersebut mengambil panas dari benda. Koefisien konveksi paksa suatu fluida akan meningkat ketika fluida tersebut diberikan suspensi partikel padat berukuran nano. Fluida air bersuspensi partikel nano Al_2O_3 dan mendapatkan peningkatan koefisien

konveksi paksa lebih dari 31% (Putra, 2005).

Proses transfer panas secara konveksi menyebabkan benda panas akan menjadi dingin. Sebuah sistem pendingin dengan memanfaatkan konveksi alami akan lebih efektif ketika menggunakan penukar panas berupa pipa dan kawat, seperti penukar panas pada lemari pendingin. Efisiensi dari penukar panas yang memanfaatkan konveksi bergantung pada geometri penukar panas, Ma'sum pada tahun 2012 berhasil meningkatkan efisiensi penukar panas sebesar 4% dengan massa penukar panas berkurang 19%.

Hukum Newton tentang pendinginan menyebutkan bahwa laju pendinginan berbanding lurus dengan selisih suhu benda dengan suhu ruangan. Penurunan suhu pada pendinginan mengikuti kurva peluruhan, dengan mengetahui konstanta waktu peluruhan maka dapat ditentukan koefisien konveksi suatu fluida. Penggunaan perangkat lunak akan memudahkan dalam perhitungan koefisien konveksi ini, Ramadhanti menggunakan Coachlab II+ untuk menentukan koefisien konveksi bahan-bahan tertentu.

Software pasco capstone dapat digunakan untuk mencatat data temperatur dan tekanan secara realtime dan otomatis, dengan sensor dan interface yang telah terkalibrasi dengan akurat. Disamping mampu mencatat suhu dan tekanan pada software pasco capstone juga dibekali plot grafik dan analisis regresi, sehingga memudahkan dalam menganalisa data. Penggunaan program pasco capstone dapat digunakan untuk mencatat penurunan suhu pada air yang dibiarkan mendingin, serta dapat langsung menganalisis persamaan suhu terhadap waktu dari hasil pencatatan, dengan kemudahan ini peneliti menggunakan data-data dan analisis hasil software pasco untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi udara. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan koefisien

konveksi alami udara di dalam lingkungan Laboratorium Fisika Dasar, UKI, Jakarta Timur.

KAJIAN TEORITIS

Kalor dan Kalor Jenis

Kalor adalah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari satu benda ke benda yang lain karena adanya perbedaan suhu. Ketika dua benda yang memiliki perbedaan dua suhu bertemu maka kalor akan berpindah (dari yang suhu tinggi ke suhu yang rendah). Misalnya kita mencampurkan air panas dengan air dingin maka kita akan mendapatkan air yang hangat. Pemberian kalor pada benda mengakibatkan dua hal yaitu, kenaikan suhu dan perubahan wujud. Banyak kalor yang di gunakan untuk menaikkan suhu di rumuskan sebagai berikut:

$$Q = m.c.\Delta T \quad (1)$$

Banyak kalor yang di gunakan untuk mengubah wujud adalah

$$Q = m.L \quad (2)$$

$$Q = m.U \quad (3)$$

Dengan c adalah kalor jenis zat (J/kg °C), Q adalah banyaknya kalor (J), m adalah massa benda (kg), ΔT adalah besarnya perubahan suhu (°C), L adalah kalor lebur (J/kg) dan U adalah kalor uap (J/kg) (Giancoli, 2001).

Perpindahan Panas Secara Konveksi

Panas dapat berpindah secara konveksi yaitu dengan aliran partikel-partikel pembawa panas. Perpindahan panas secara konveksi dapat terjadi secara alami maupun paksaan. Besarnya panas yang dipindahkan karena secara konveksi dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{Q}{t} = hA(T - T_0) \quad (4)$$

dengan $\frac{Q}{t}$ adalah jumlah kalor yang dipindahkan tiap satuan waktu (J/s), h adalah koefisien konveksi ($\text{W/m}^2\text{°C}$), A adalah luas penampang (m^2), T adalah suhu benda ($^{\circ}\text{C}$) dan T_0 adalah suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$) (Tipler, 1998).

Hukum Newton Tentang Pendinginan

Hukum Newton tentang pendinginan air menyatakan bahwa laju penurunan suhu berbanding lurus dengan selisih suhu air dan ruangan, secara matematis dirumuskan sebagai:

$$\frac{dT}{dt} = -\alpha(T - T_0) \quad (5)$$

dengan α adalah konstanta pendinginan air (s^{-1}), T adalah suhu air ($^{\circ}\text{C}$) dan T_0 adalah suhu ruangan ($^{\circ}\text{C}$). Penurunan persamaan (1) akan menghasilkan persamaan:

$$T(t) = T_0 + T_{\Delta}e^{-\alpha t} \quad (6)$$

Dengan T_{Δ} adalah selisih suhu awal air panas dengan suhu ruangan ($^{\circ}\text{C}$) (Margenau, 1953).

Jumlah panas yang ditransfer oleh benda ke lingkungan secara konveksi dirumuskan sebagai :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA(T - T_0) \quad (7)$$

dengan $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ adalah jumlah kalor yang ditransfer tiap satuan waktu (J/s), h koefisien konveksi ($\text{W/m}^2\text{°C}$), A luas penampang (m^2), T adalah suhu benda ($^{\circ}\text{C}$) dan T_0 adalah suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$).

Banyaknya kalor yang hilang akibat penurunan suhu benda dirumuskan sebagai:

$$Q = -mc\Delta T \quad (8)$$

dengan m adalah massa benda (kg), c adalah kalor jenis benda ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$) dan ΔT adalah perubahan suhu benda ($^{\circ}\text{C}$).

Air panas di dalam sebuah wadah dibiarkan di udara bebas maka akan mengalami penurunan suhu, dengan energi panas yang hilang sebagai berikut:

$$\Delta Q = -(m_a c_a + m_w c_w) \Delta T \quad (9)$$

dengan m_a adalah massa air, c_a adalah kalor jenis air, m_w adalah masa wadah dan c_w adalah kalor jenis wadah.

Penurunan suhu air ini disebabkan karena terjadinya transfer panas dari air ke udara secara konveksi, sehingga dengan

mensubstitusikan persamaan (7) ke persamaan (9) diperoleh:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = -\frac{hA}{m_a c_a + m_w c_w} (T - T_0) \quad (10)$$

Berdasar persamaan (10) laju penurunan suhu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{hA}{m_a c_a + m_w c_w} (T - T_0) \quad (11)$$

Persamaan (11) sesuai dengan persamaan (5), dengan:

$$\alpha = \frac{hA}{m_a c_a + m_w c_w} \quad (12)$$

atau

$$h = \frac{\alpha (m_a c_a + m_w c_w)}{A} \quad (13)$$

Dari persamaan (13) dapat diketahui yang mempengaruhi kecepatan pendinginan air adalah koefisien konveksi, luas penampang, masa air, masa wadah dan bahan dari wadah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan tiga buah gelas yang berbeda ukuran, timbangan, sensor suhu, interface dan PC. Masing-masing gelas dalam keadaan kosong ditimbang untuk mendapatkan massa gelas (m_w), kemudian diisi dengan air panas dan dibiarkan mendingin karena proses transfer panas ke udara. Sensor suhu diletakkan pada masing-masing gelas, terhubung

dengan interface pasco. Pencatatan suhu dilakukan dengan software pasco capstone versi 14.1 yang terinstall dalam Acer All in one PC, pencatatan suhu dilakukan setiap 60 s selama masing-masing 2 jam. Setelah selesai proses pendinginan massa gelas berisi air ditimbang, sehingga diperoleh massa air (m_a).

Data yang diperoleh diplotkan dalam grafik dengan menggunakan software pasco capstone versi 14.1, selanjutnya dianalisis pola grafik yang diperoleh dengan menggunakan analisis regresi natural eksponensial, sehingga diperoleh nilai konstanta pendinginan air dari masing-masing gelas. Untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi udara digunakan persamaan (13) dengan data tambahan yaitu massa air, massa gelas, kalor jenis air dan kalor jenis gelas.



Gambar 1. Peralatan Penelitian

Analisis grafik yang diperoleh dari software pasco capstone 14.1, dianalisis dengan metode regresi linier untuk mendapatkan persamaan empiris dari grafik yang dibentuk, dari persamaan empiris ini diperoleh nilai konstanta pendinginan air α . Untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi udara digunakan persamaan (12), dengan memasukkan nilai c_a dan c_w dari referensi, yaitu $c_a = 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ dan $c_w = 840 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendinginan Air pada Gelas I

Tabel 1 Merupakan data yang diperoleh dari pencatatan dengan software Pasco Capstone 14.1, yaitu waktu (t), temperatur air pada gelas I (T_1), temperatur air pada gelas II (T_2), temperatur air pada gelas III (T_3), dan suhu ruangan laboratorium (T_0). Rata-rata suhu ruangan laboratorium sebesar $27,371^\circ\text{C}$.

Gelas I memiliki ukuran diameter 5,13 cm, tinggi 8,06 cm, massa 58 gram dan diisi

dengan air panas 130 gram. Hasil plot dan analisis grafik pada gelas I diperoleh seperti pada gambar 2. Dari gambar 2 terlihat bahwa penurunan suhu air mengikuti eksponensial peluruhan, hal ini sesuai dengan pernyataan hukum Newton tentang pendinginan. Pada saat awal perbedaan suhu antara air dan udara lebih besar sehingga penurunan suhu akan berlangsung cepat, setelah suhu air menurun, maka perbedaan dengan suhu udara akan semakin kecil, sehingga penurunan suhu air akan menjadi lebih lama. Hasil regresi menghasilkan persamaan eksponensial peluruhan sebagai berikut:

$$T = 37,4e^{-4,87 \times 10^{-4}t} + 28,9 \quad (14)$$

Dengan t dalam s dan T dalam $^\circ\text{C}$.

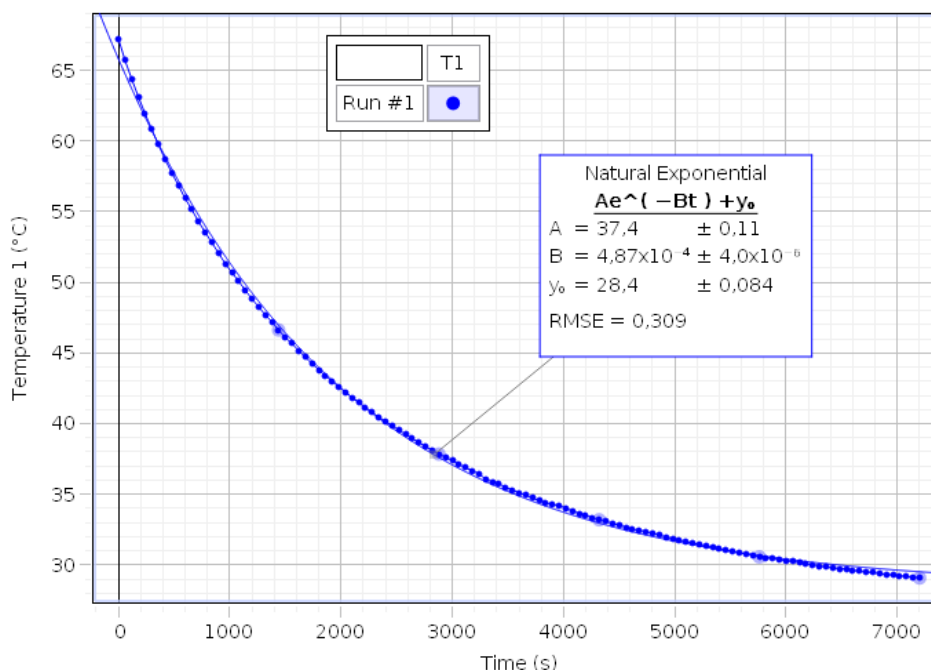
Dari persamaan (14) ketika disesuaikan dengan persamaan (6) diperoleh suhu di lingkungan sekitar gelas I sebesar $T_0 = 28,9^\circ\text{C}$, suhu awal air sebesar

$$T_i = 37,4 + 28,9 = 66,3^\circ\text{C} \quad \text{dan}$$

koefisien pendinginan air $\alpha = 4,87 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Tabel 1. Waktu vs suhu air pada gelas I, II, III dan suhu ruangan.

t (s)	$T_1 (^\circ\text{C})$	$T_2 (^\circ\text{C})$	$T_3 (^\circ\text{C})$	$T_0 (^\circ\text{C})$
0	67,245	67,151	69,526	27,750
60	65,703	66,287	68,570	27,608
120	64,383	64,746	67,583	27,522
180	63,123	63,818	66,638	27,619
240	61,935	63,494	65,715	27,549
300	60,822	61,955	64,953	27,576
360	59,740	61,137	64,224	27,598
420	58,691	60,216	63,316	27,552
...



Gambar 2. Grafik hubungan waktu dan suhu air pada gelas I.

Pendinginan Air pada Gelas II dan III

Gelas II memiliki ukuran diameter 6,40 cm, tinggi 9,15 cm, massa 101 gram dan diisi dengan air panas 233 gram. Hasil plot dan analisis grafik pada gelas II diperoleh seperti pada gambar 3. Gelas III memiliki ukuran diameter 8,82 cm, tinggi 11,73 cm, massa 139 gram dan diisi dengan air panas 488 gram. Hasil plot dan analisis grafik pada gelas II diperoleh seperti pada gambar 4.

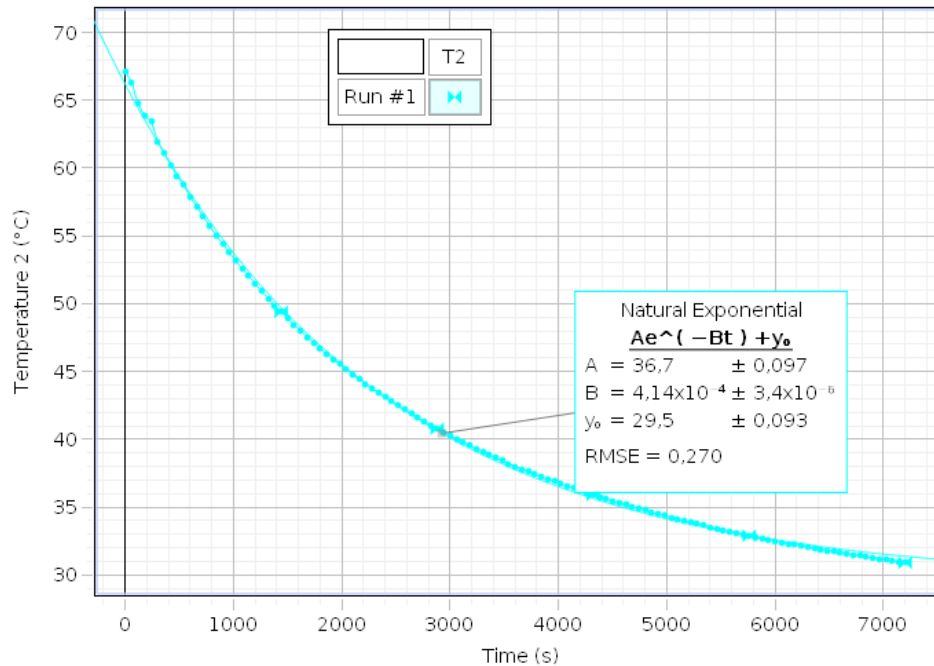
Dari gambar 3 terlihat bahwa penurunan suhu air mengikuti eksponensial peluruhan, serupa dengan penurunan suhu pada gelas I, sehingga dapat dikatakan

bahwa pada gelas II juga sesuai dengan pernyataan hukum Newton tentang pendinginan yang menghasilkan grafik berupa grafik peluruhan sesuai persamaan (6). Hasil regresi menghasilkan persamaan eksponensial peluruhan sebagai berikut:

$$T = 36,7e^{-4,14 \times 10^{-4}t} + 29,5 \quad (15)$$

Dengan t dalam s dan T dalam $^{\circ}\text{C}$.

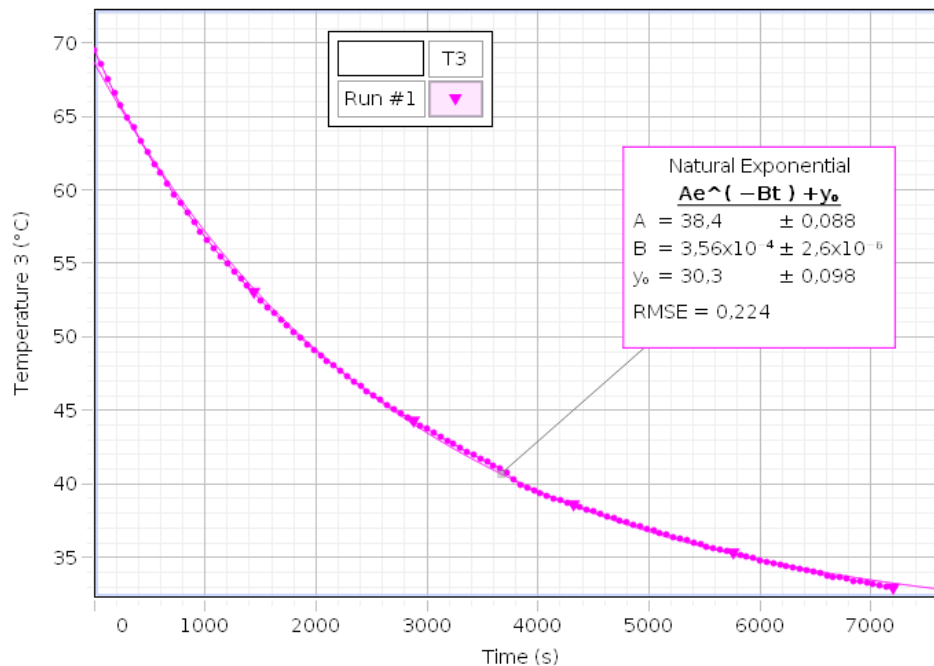
Dari persamaan (15) ketika disesuaikan dengan persamaan (6) diperoleh suhu di lingkungan sekitar gelas II sebesar $T_0 = 29,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, suhu awal air sebesar $T_i = 36,7 + 29,5 = 66,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan koefisien pendinginan air $\alpha = 4,14 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.



Gambar 3. Grafik hubungan waktu dan Suhu air pada gelas II.

Dari gambar 4 terlihat bahwa penurunan suhu air mengikuti eksponensial peluruhan, serupa dengan penurunan suhu pada gelas I dan II, sehingga dapat dikatakan bahwa pada gelas III juga sesuai dengan

pernyataan hukum Newton tentang pendinginan yang menghasilkan grafik berupa grafik peluruhan sesuai persamaan (6).



Gambar 4. Grafik hubungan waktu dan Suhu air pada gelas III.

Hasil regresi menghasilkan persamaan eksponensial peluruhan sebagai berikut:

$$T = 38,4e^{-3,56t \times 10^{-4}} + 30,3 \quad (16)$$

Dengan t dalam s dan T dalam $^{\circ}\text{C}$.

Dari persamaan (16) ketika disesuaikan dengan persamaan (6) diperoleh suhu di lingkungan sekitar gelas III sebesar $T_0 = 30,3^{\circ}\text{C}$, suhu awal air sebesar $T_i = 38,4 + 30,3 = 68,7^{\circ}\text{C}$ dan koefisien pendinginan air $\alpha = 3,56 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Perbandingan Suhu Lingkungan dengan Suhu Sekitar Gelas I, II dan III

Tabel 2 adalah perbandingan suhu lingkungan dengan suhu sekitar gelas I, II dan III. Data yang tertera pada tabel 2 diambil dari hasil pencatatan oleh sensor dan hasil analisis menggunakan software Pasco Capstone 14.1.

Dari tabel 2 suhu sekitar gelas yang diperoleh dari hasil analisis menunjukkan angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu lingkungan laboratorium, hal

Tabel 2. Perbandingan suhu lingkungan dan suhu sekitar gelas I, II dan III.

$T_0 (^{\circ}\text{C})$	Gelas I	Gelas II	Gelas III
Analisis	28,4	29,5	30,3
Sensor	27,4	27,4	27,4
ΔT_0	1,0	2,1	2,9

ini dikarenakan udara di sekitar gelas akan menerima tambahan kalor dari air panas. Perbedaan suhu terkecil pada gelas I dan terbesar pada gelas III, hal ini disebabkan oleh jumlah air terbesar ada pada gelas III, sehingga udara disekitar gelas III lebih banyak menerima kalor dibandingkan dengan gelas II dan gelas I.

Dari persamaan (1), (2) dan (3) dapat dilihat bahwa suhu awal air hasil analisis selalu lebih kecil dari suhu awal air yang tercatat oleh sensor, ini karena sistem merupakan perpaduan antara air dan gelas, sedangkan yang tercatat oleh sensor hanya suhu air. Perbedaan hasil analisis dan hasil pembacaan pada sensor ini merupakan konsekuensi dari kesetaraan dengan komponen-komponen penyusun sistem tersebut.

Perbandingan Konstanta Pendinginan Air Pada Gelas I, II dan III.

Tabel 3 menyajikan perbandingan konstanta pendinginan air (α) dan umur panas (τ) dari gelas I, II dan III. Umur panas memiliki persamaan $\tau = \alpha^{-1}$, didefinisikan sebagai waktu energi panas dapat terperangkap di dalam air, atau waktu yang dibutuhkan air panas untuk menjadi dingin.

Tabel 3. Perbandingan konstanta pendinginan air (α) dan umur panas (τ) dari gelas I, II dan III.

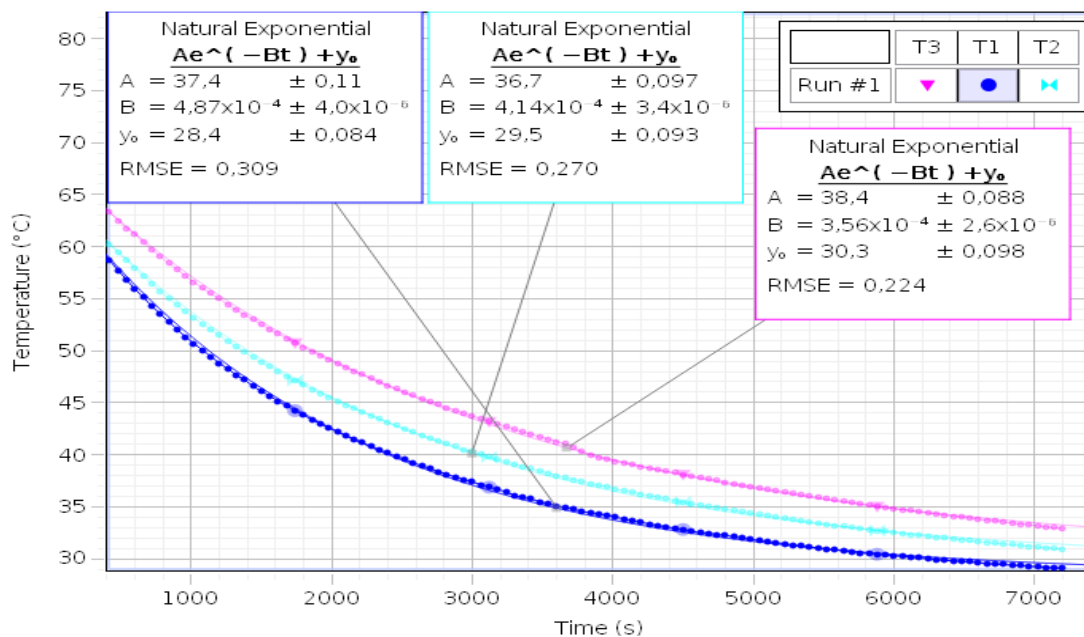
Konstanta	Gelas I	Gelas II	Gelas III
α (s^{-1})	$4,87 \times 10^{-4}$	$4,14 \times 10^{-4}$	$3,56 \times 10^{-4}$
τ (s)	2053	2415	2808

Konstanta pendinginan air pada gelas I adalah yang terbesar dan untuk gelas III adalah yang terkecil, hal ini menunjukkan bahwa pada air pada gelas I akan mendingin paling cepat, dan air pada gelas ke III kan mendingin paling lambat, hal ini ditunjukkan oleh gambar 5 grafik pada gelas I paling curam peluruannya dan grafik pada gelas III paling landai peluruannya. Air pada gelas I adalah yang paling cepat mendingin sehingga umur panasnya paling singkat sedangkan umur

panas pada gelas III adalah yang paling lama, hal ini juga ditunjukkan pada tabel 3.

Koefisien Konveksi Udara

Air panas di dalam gelas berangsur-angsur akan mengalami penurunan suhu karena energi panas dari air dan kaca dipindahkan ke udara melalui proses konveksi. Air mengalami pengurangan energi panas sehingga suhunya akan turun dan ketika suhu air, gelas dan udara berada pada keseimbangan maka tidak terjadi lagi perpindahan panas, sehingga suhu air, kaca dan udara tidak berubah.



Gambar 5. Perbandingan peluruhan suhu air dalam gelas I, II dan III

Tabel 4. Perhitungan koefisien konveksi dari gelas I, II dan III.

	α (s ⁻¹)	m_w (kg)	m_a (kg)	A (m ²)	h (W/m ² .°C)
Gelas I	$4,87 \times 10^{-4}$	0,058	0,130	$1,50 \times 10^{-2}$	19,3
Gelas II	$4,14 \times 10^{-4}$	0,101	0,233	$2,16 \times 10^{-2}$	20,4
Gelas III	$3,56 \times 10^{-4}$	0,139	0,488	$3,86 \times 10^{-2}$	20,0
$h = 19,9 \pm 0,6$ W/m ² .°C					

Perpindahan secara konveksi dapat terjadi secara alami maupun dengan paksaan. Konveksi secara alami pergerakan partikel pemindai panas terjadi karena perubahan massa jenis partikel tersebut setelah menerima panas, sedangkan pada konveksi paksa partikel pemindai panas dengan sengaja dialirkan untuk mengambil panas. Pada penelitian ini partikel pemindai panas adalah udara di ruangan laboratorium tidak dengan sengaja dialirkan ke air dan gelas, sehingga proses konveksi pada penelitian ini adalah konveksi secara alami.

Perhitungan koefisien konveksi alami dari penelitian ini dengan menggunakan persamaan (11) yang disajikan pada tabel 4. Luas penampang A diperoleh dengan mengasumsikan bahwa gelas berbentuk silinder dan bagian bawah gelas tidak mengalami kontak dengan udara, sehingga perhitungan luas adalah luas penampang lingkaran gelas ditambah dengan luas selimut silinder.

Berdasarkan tabel 4 diperoleh bahwa besarnya koefisien konveksi udara di dalam

ruangan laboratorium sebesar $h = 19,9 \pm 0,6$ W/m².°C. Jika terdapat sebuah benda seluas 1 m² yang memiliki suhu 1°C lebih tinggi dari suhu ruangan maka energi panas benda tersebut akan hilang sebesar 19,9 J tiap detik.

KESIMPULAN

Pendinginan air dapat terjadi karena adanya perpindahan panas secara konveksi dari air panas ke udara. Pada proses pendinginan air persamaan suhu terhadap waktu merupakan persamaan eksponensial peluruhan, sesuai dengan hukum Newton tentang pendinginan. Besarnya konstanta pendinginan menunjukkan seberapa cepat air akan menjadi dingin ketika dibiarkan bebas di udara. Besarnya konstanta pendinginan tidak lepas dari besarnya koefisien konveksi udara. Dari penelitian diperoleh nilai koefisien konveksi udara sebesar $h = 19,9 \pm 0,6$ W/m².°C, yang berarti jika terdapat sebuah benda seluas 1 m² yang memiliki suhu 1°C lebih tinggi dari suhu ruangan maka energi panas benda

tersebut akan hilang sebesar 19,9 J tiap detiknya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan dosen Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Kristen Indonesia dan kepada Pimpinan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Kristen Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Giancoli, Douglas C. 2001. *FISIKA Jilid 1 Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.

Margenau, Henry., Watson, William W., Montgomery, C.G., 1953, *Physics: Principles and Application Second Edition*, McGraw Hill.

Ma'sum, Zuhdi., Arsana, Made., Malik, Fathurrahman., Priyono, Wahyudi., Altway, Ali., 2012. *Analisis Perpindahan Panas dengan Konveksi Bebas Dan Radiasi pada*

Penukar Panas Jenis Pipa dan Kawat, Jurnal Teknik Kimia Vol.7, No.1, September 2012

Putra, Nandy., Maulana, Syahrial., Koestoer, R.A., Danardono A.S., 2005, *Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Fluida Air Bersuspensi Nano Partikel (Al₂O₃) pada Fintube Heat Exchanger*, Jurnal Teknologi, Edisi No. 2, Tahun XIX, Juni 2005, 116-125 ISSN 0215-1685

Ramadhanti, Putri., Fathurohman, Apit., 2014, *Penggunaan Coachlab II+ dalam Menentukan Koefisien Konveksi*, diakses pada tanggal 4 april 2016 dari <http://ejournal.unisri.ac.id/index.php/jipf/view/1806/751>.

Tipler, P.A., 1998, *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 1 (Terjemahan)*, Jakarta : Erlangga

